




DOI 10.22363/2312-8143-2022-23-4-336-342
УДК 553.98

Научная статья / Research article

Особенности засоления продуктивных отложений углеводородов юга Восточно-Сибирской платформы

П.Н. Страхов , А.С. Пономаренко  

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация
 anast.ponomarenko@gmail.com

История статьи

Поступила в редакцию: 6 августа 2022 г.
Доработана: 17 ноября 2022 г.
Принята к публикации: 20 ноября 2022 г.

Ключевые слова:

фильтрационно-емкостные свойства, пустотное пространство, разработка залежей углеводородов, постседиментационные процессы

Аннотация. Актуальность исследования заключается в необходимости восполнения ресурсной базы углеводородов России за счет освоения месторождений южной части Восточно-Сибирского региона. Продуктивные горизонты на территории характеризуются повышенной неоднородностью, которая во многом обусловлена постседиментационными процессами. Цель исследования – изучение результатов развития процессов галитизации (эпигенетическое заполнение галитом пустотного пространства пород). Материалом послужили данные литолого-петрофизических исследований ядра, на основе которых произведен статистический анализ засоленных пород и построены соотношения между фильтрационно-емкостными свойствами и содержанием галита в палеопустотном пространстве для продуктивных горизонтов. Заполнение пустотного пространства вторичным галитом имеет не только отрицательное влияние на коллекторские свойства пород, но и негативно сказывается на самом процессе разработки залежей. Закачивание в пласт пресной воды провоцирует начало растворения кристаллов поваренной соли, развитие которого сопровождается выделением большого количества тепла, что в свою очередь повлечет за собой интенсивное осаждение в пустотном пространстве кристаллов кальцита, так как в пласте широко распространены карбонатные воды. В результате ухудшатся фильтрационно-емкостные свойства продуктивных пород вплоть до изоляции ряда нефтегазонасыщенных тел от основной дренирующей системы продуктивных горизонтов, что негативно повлияет на коэффициент извлечения нефти и, следовательно, на эффективность освоения залежей углеводородов.

Для цитирования

Страхов П.Н., Пономаренко А.С. Особенности засоления продуктивных отложений углеводородов юга Восточно-Сибирской платформы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2022. Т. 23. № 4. С. 336–342. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2022-23-4-336-342>



Features of filling productive hydrocarbon deposits in the south of the East Siberian platform

Pavel N. Strakhov , Anastasia S. Ponomarenko  

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

 anast.ponomarenko@gmail.com

Article history

Received: August 6, 2022

Revised: November 17, 2022

Accepted: November 20, 2022

Keywords:

salinization, reservoir properties, void, oil development, gas development, postsedimentation

Abstract. The relevance of the research lies in the need to replenish the resource base of hydrocarbons in Russia through the development of deposits in the southern part of the East Siberian. Productive horizons in the area are characterized by increased non-uniformity, which is largely due to post-sedimentation processes. The aim of the work is to study the results of the development of halitization processes (epigenetic filling of the void space of rocks with halite). The material for the study was the data of lithological and petrophysical studies of the core, on the basis of which a statistical analysis of saline rocks was performed and the relations between reservoir properties and halite content in the paleovoids for productive horizons were constructed. Filling the void space with secondary halite has not only a negative impact on the reservoir properties of rocks, but also negatively affects the process of developing deposits. Injection of fresh water into the reservoir will cause the beginning of dissolution of salt crystals, the development of which is accompanied by the release of a large amount of heat, which in turn will entail intensive deposition of calcite crystals in the void space, since carbonate waters are widespread in the formation. As a result, the reservoir properties of productive rocks will deteriorate up to the isolation of a number of oil and gas-saturated bodies from the main drainage system of productive horizons, which will negatively affect the oil recovery coefficient and, consequently, the efficiency of the development of hydrocarbon deposits.

For citation

Strakhov PN, Ponomarenko AS. Features of filling productive hydrocarbon deposits in the south of the East Siberian platform. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2022;23(4):336–342. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2022-23-4-336-342>

Введение

Вопрос освоения месторождений углеводородов, расположенных на территории Восточной Сибири, уже несколько десятилетий достаточно остро стоит перед нефтегазодобывающей отраслью. Начало функционирования трубопроводного транспорта Восточная Сибирь – Тихий океан (ВСТО) значительно повышает актуальность реализации данного процесса.

Объектом исследования стали юряхский, ботубинский, хамакинский, талахский, преображенский и осинский терригенные и карбонатные продуктивные горизонты на территории Непско-Ботубинской антеклизы. Одной из главных проблем освоения месторождений, приуроченных к данным горизонтам, являются сложно построенные коллекторы продуктивных отложений [1; 2].

Большое влияние на эффективность подготовки к разработке залежей нефти и газа оказали постседиментационное преобразования пород, возраст которых датируется как вендская эратема – кембрийская система [3; 4]. За время своего существования на данные отложения оказали воздействие такие процессы, как гравитационное уплотнение, вторичное минералообразование, выщелачивание, трещинообразование и заполнение поваренной солью пустотного пространства. Последнему фактору в предлагаемой работе уделяется особенное внимание [5–8].

Значительный вклад в исследование постседиментационных процессов внесли Г.Г. Шемин, Н.В. Мельников [5; 8]. Учеными в разные временные отрезки были рассмотрены и изучены структурно-тектоническое, литологическое строение, а также вопросы по геохимии и нефтегазо-

ности территории. Однако реализованные проекты по изученности территории ввиду сложности горно-геологического строения и недостаточности полных исследований современными методами носят преимущественно региональный характер, что дает только общее представление о строении территории и перспективах нефтегазоносности. Уделялось недостаточное внимание изучению коллекторских свойств и функциональных неоднородностей, при этом проведенные геофизические исследования скважин и кернового материала носят локальный характер для залежей исключительно внутри участков месторождений.

Цель исследования – изучить результаты развития процессов эпигенетического засоления пустотного пространства пород, которые необходимы для проведения поисково-разведочных работ и оценки ресурсов перспективных объектов. Для достижения цели решались следующие задачи: исследование соотношений фильтрационно-емкостных свойств и интенсивности эпигенетического засоления для выявления фильтрационных неоднородностей; определение интенсивности заполнения галитом пустотного пространства (что дает понимание о потенциальных барьерах для миграции флюидов); оценка ухудшения емкостных свойств в результате осаждения галита при определенных методах разработки продуктивных интервалов.

1. Материалы и методы

В исследовании применялся комплексный анализ геолого-геофизических данных, которые послужили основой для применения статистических методов с целью выявления явных и функциональных неоднородностей фильтрационно-емкостных свойств продуктивных отложений. Материалом для изучения послужили данные литолого-петрофизических исследований ядра, на основе которых был произведен статистический анализ засоленных пород. Метод исследования носит эмпирический характер, поэтому построены соотношения между фильтрационно-емкостными свойствами и содержанием галита в палеопустотном пространстве для продуктивных горизонтов. Изучены шесть продуктивных горизонтов на основе литолого-петрофизических результатов исследований и результатов интерпретации ГИС по 34 скважинам. Обобщены результаты определений (по керну) пористости и проницаемости – 496 и 387 образцов соответственно.

2. Результаты и обсуждение

Рассматривалась не эвапоритовая толща кембрийской системы, перекрывающая продуктивные отложения и выполняющая роль региональной крышки [9–11], а характер заполнения вторичными кристаллами галита палеопустотного пространства.

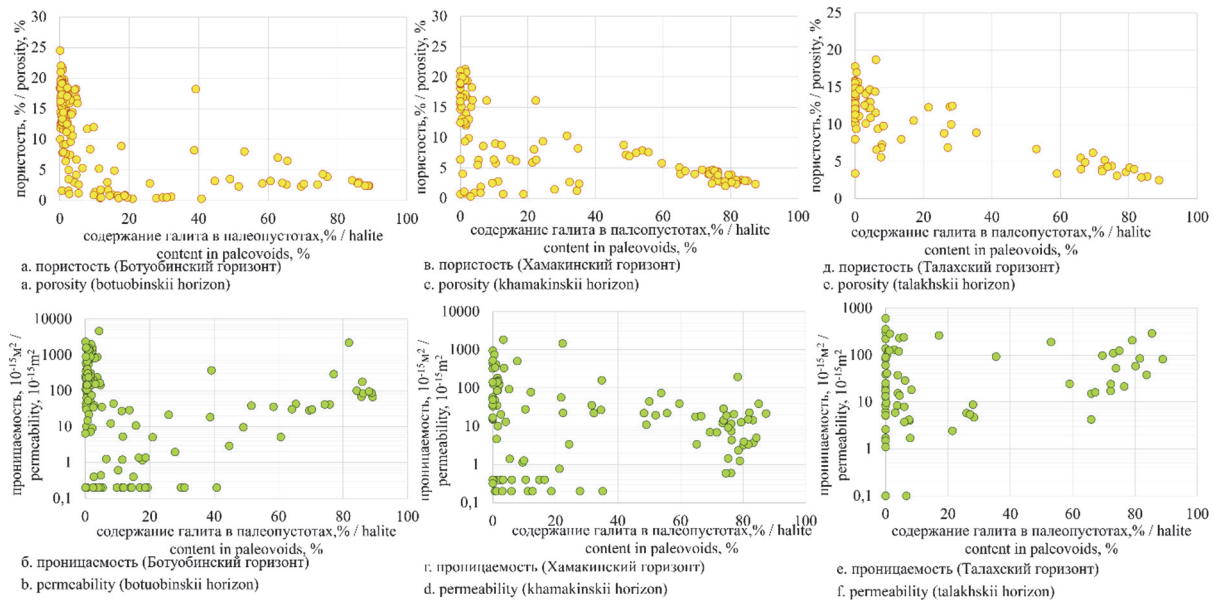


Рис. 1. Соотношение фильтрационно-емкостных свойств и интенсивности эпигенетического засоления терригенных пород Непско-Ботуобинской антеклизы
Figure 1. Correlation of reservoir properties and intensity of epigenetic salinization of terrigenous rocks of the Nepsko-Botuobinskaya anteclise

Данный факт обуславливает необходимость учета ряда факторов. Во-первых, происходит локальное ухудшение коллекторских свойств продуктивных отложений, что формирует фильтрационные неоднородности, способствующие осложнению фронта вытеснения углеводородов в ходе разработки залежей. В целом прослеживается существенное ухудшение коллекторских свойств в результате данных преобразований (рис. 1).

Наиболее четко, что представляется логичным, это прослеживается при сопоставлении интенсивности проявления данных преобразований и пористости продуктивных отложений. Увеличение содержания вторичного галита в пустотном палеопространстве сопровождается уменьшением пористости [12–17]. Несколько сложнее данная зависимость проявляется при рассмотрении особенностей соотношений вторичного галита и проницаемости. Здесь значительное влияние оказали процессы трещинообразования. Именно по этой причине фиксируются хорошие фильтрационные свойства пород, характеризующиеся существенным их засолонением.

Боле того, интенсивность данного процесса может быть существенной (рис. 2), что в ряде случаев определяет полное заполнение солью пустотного пространства, создающее благоприятные условия для образования локальных литологических барьеров, а следовательно, и ловушек неантиклинального типа. В качестве примера, иллюстрирующего данное положение, выступает северная граница залежи Тымпучиканского месторождения, приуроченной к талахскому горизонту. Керн из рассматриваемого стратиграфического диапазона, поднятого в скважине 254-1 представлен песчано-алевролитовыми отложениями, поры которых полностью залечены кристаллами галита.

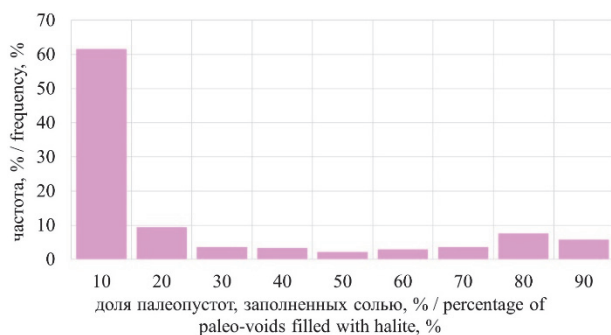


Рис. 2. Гистограмма засолоненности палеопустот продуктивных пород Непско-Ботубинской антеклизы
Figure 2. Histogram of salinity of productive rocks paleovoids of the Nepsko-Botubinskaya antecline

Присутствие в продуктивных породах эпигенетического галита оказывает определенное влияние на характер разработки залежей углеводородов. В случае закачки в пласт воды при поддержании пластового давления, что для данной территории является актуальным, будет происходить растворение каменной соли, которое, в свою очередь, определит увеличение температуры. С одной стороны, это приведет к улучшению упругих свойств пласта, с другой – будет способствовать выпадению в осадок кристаллов карбонатных минералов, которые характеризуются ретроградной растворимостью (растворимость уменьшается по мере прогрева раствора). Это, безусловно, негативно повлияет на коллекторские свойства нефтегазоносных пластов. Также данное положение следует учитывать при осуществлении процессов гидроразрыва в карбонатных нефтегазоносных горизонтах. Присутствие воды в закачиваемых растворах приведет к растворению эпигенетической соли и осаждению карбонатных минералов на стенках пустот. Наиболее вероятно, что последствием этого явление станет частичная или полная изоляция от системы вновь образованных с помощью данного способа воздействия на пласт трещин [12; 15].

Также возможны осложнения строения коллекторов при проведении соляно-кислотной обработки призабойной зоны. Присутствие в поровых водах дополнительного количества ионов хлора увеличит произведение растворимости хлора и натрия, определив тем самым нарушение равновесия раствора и последующее техногенное осаждение кристаллов галита в пустотном пространстве, ухудшая фильтрационно-емкостные свойства целевых отложений.

Анализ материалов исследований керна [12] позволяет проследить общую тенденцию снижения интенсивности развития данных преобразований вниз по разрезу (таблица). Это можно рассматривать в качестве косвенного подтверждения существования тенденции проникновения рассолов поваренной соли из верхних слоев. Возможно, это происходило во время накопления хемогенных отложений в кембрийский период, когда существовал палеобассейн, воды которого имели аномально высокую соленость.

В данном случае заслуживает внимания приуроченность зон с повышенным содержанием эпигенетического галита к дизъюнктивным нарушениям [18–20]. По всей видимости, в местах их

развития в ряде случаев формировались системы трещин, по которым могли перемещаться соответствующие рассолы. Данное положение может быть использовано при проведении поисковых работ с целью выявления неантиклинальных лову-

шек углеводородов. Также его необходимо учитывать при составлении проектной документации разработки залежей нефти и газа. В первую очередь при оптимизации процессов поддержания пластового давления.

Оценка сокращения пористости пород в результате эпигенетического осадения галита в палеопустотном пространстве месторождений Непско-Ботубинской антеклизы

Горизонт	Абсолютное уменьшение пористости за счет вторичного осадения галита, д. ед.			Относительное уменьшение пористости за счет вторичного осадения галита, %		
	Минимальное	Максимальное	Среднее	Минимальное	Максимальное	Среднее
Осинский	0,002	0,225	0,054	2,6	96,7	54,3
Юряхский	0,004	0,267	0,08	9,9	99,3	68,7
Преображенский	0,004	0,039	0,014	3,4	97,3	24,0
Хамакинский	0,009	0,16	0,030	0,18	87,4	35,3
Ботубинский	0,003	0,019	0,012	0,18	89,1	17,3
Талахский	0,001	0,174	0,011	0,3	67,1	14,4

Assessment of the reduction of rocks porosity as a result of epigenetic deposition of halite in the paleovoid space of the deposits of the Nepsko-Botuobinskaya anticline

Horizon	Absolute reduction of porosity due to secondary precipitation of halite, d. q.			Relative reduction of porosity due to secondary precipitation of halite, %		
	Min	Max	Median	Min	Max	Median
Osinskii	0,002	0,225	0,054	2,6	96,7	54,3
Yuryakhskii	0,004	0,267	0,08	9,9	99,3	68,7
Preobrazhenskii	0,004	0,039	0,014	3,4	97,3	24,0
Khamakinskii	0,009	0,16	0,030	0,18	87,4	35,3
Botuobinskii	0,003	0,019	0,012	0,18	89,1	17,3
Talakhskii	0,001	0,174	0,011	0,3	67,1	14,4

Заключение

Засолонение пород-коллекторов имеет эпигенетический характер. Породы, имеющие высокие фильтрационно-емкостные свойства, наиболее заполнены NaCl; также отмечается приуроченность зон галитизации к вертикальным трещинам в породах.

Наблюдается тенденция снижения содержания галита вниз по разрезу в связи с миграцией из вышележающих сульфатно-галогенно-карбонатных толщ.

Галитизация пустотного пространства имеет отрицательное влияние на коллекторские свойства пород и продуктивность скважин.

Вероятны осложнения при методах разработки: закачивание в пласт воды, соляно-кислотная обработка призабойной зоны.

Список литературы

1. Страхов П.Н., Филиппов В.П., Мазанова А.В., Фадеев И.Ю. Проблемы освоения залежей углеводородов, приуроченных к коллекторам сложного строения // Нефтяное хозяйство. 2015. № 12. С. 98–101.
2. Лобусев А.В., Страхов П.Н., Лобусев М.А., Антипова Ю.А., Осин Д.А. Возможность использования данных сейсморазведки для прогнозирования коллекторских свойств продуктивных отложений Тымпучиканского месторождения // Территория нефтегаз. 2014. № 3. С. 18–23.
3. Кузнецов В.Г., Илюхин Л.Н., Постникова О.В., Бакина В.В., Горина А.Б., Дмитриевский С.А., Скобелева Н.М., Тихомирова Г.И., Сухы В., Фоммичева Л.Н. Древние карбонатные толщи Восточной Сибири и их нефтегазоносность. М.: Научный мир, 2000. 104 с.
4. Кушмар И.А., Григоренко Ю.Н., Ананьев В.В., Белинкин В.А. Нефть и газ Восточной Сибири. СПб.: Недра, 2006. 102 с.

5. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (стратиграфия, история развития). Новосибирск: СО РАН, 2009. 148 с.

6. Нигаматов Ш.А., Исмагилова Л.Р., Боценко А.Н. Прогнозирование зон засоления песчаников ботубинского горизонта на примере Чаюдинского месторождения (Восточная Сибирь) // *PRОнефть. Профессионально о нефти*. 2019. № 3 (13). С. 35–40. <https://doi.org/10.24887/2587-7399-2019-3-35-40>

7. Рыжов А.Е., Перунова Т.А., Орлов Д.М. Структура порового пространства пород-коллекторов ботубинского горизонта Чаюдинского месторождения // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2011. № 1 (6). С. 162–174.

8. Шемин Г.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботубинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина). Новосибирск: СО РАН, 2007. 530 с.

9. Пономаренко А.С. Геология залежей карбонатных коллекторов Непско-Ботубинской антеклизы // *Вестник Евразийской науки*. 2020. № 6. С. 14.

10. Пономаренко А.С. Геология залежей углеводородов, приуроченных к терригенным коллекторам Непско-Ботубинской нефтегазоносной области // *Наука и техника в газовой промышленности*. 2021. № 1. С. 3–10.

11. Пономаренко А.С. Особенности строения пустотного пространства ботубинского горизонта // *Вестник Евразийской науки*. 2021. № 5. С. 9.

12. Страхов П.Н., Колосков В.Н., Богданов О.А., Сапожников А.Б., Мазанова А.В. Освоение залежей углеводородов Непско-Ботубинской антеклизы // *Вестник Ассоциации буровых подрядчиков*. 2017. № 3. С. 39–43.

13. Мухидинов Ш.В., Воробьев В.С. Методические особенности петрофизического изучения засоленных терригенных пород нефтегазовых месторождений Чонской группы // *PRОнефть. Профессионально о нефти*. 2017. № 1 (3). С. 32–37.

14. Воробьев В.С., Жуковская Е.А., Мухидинов Ш.В. Учет эффекта засоления пород коллекторов пластов В10, В13 непской свиты для повышения эффективности поисково-разведочного бурения на Игнялинском, Тымпучиканском и Вакунайском лицензионных участках (Восточная Сибирь) // *Геология нефти и газа*. 2017. № 6. С. 49–57.

15. Воробьев В.С., Клинов Я.С. Причины засоления терригенных пород в пределах Верхнечонского месторождения (Восточная Сибирь) // *Газовая промышленность*. 2017. № 4 (751). С. 36–43.

16. Воробьев В.С., Чеканов И.В., Клинов Я.С. Модель распространения терригенных коллекторов и засоленных песчано-гравелитистых отложений в пределах месторождений центральной части Непско-го свода // *Геология нефти и газа*. 2017. № 3. С. 47–60.

17. Страхов П.Н., Колосков В.Н., Богданов О.А., Сапожников А.Б. Исследование неоднородностей нефтегазоносных отложений, М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2018. 189 с.

18. Рапацкая Л.А. О роли шарьяжно-надвиговой тектоники в формировании месторождений углеводородов на юге Сибирской платформы // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2014. № 10. С. 102–109.

19. Рапацкая Л.А. Многофакторная и разнополярная роль дизъюнктивной тектоники в онтогенезе углеводородов (Сибирская платформа) // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2016. № 2 (55). С. 40–50. <https://doi.org/10.21285/0301-108X-2016-55-2-40-50>

20. Ивченко О.В., Поляков Е.Е., Ивченко М.В. Влияние разрывной тектоники на нефтегазоносность вендско-нижнекембрийских отложений южных районов Сибирской платформы (Непско-Ботубинская антеклиза и сопредельные территории) // *Научно-технический сборник Вести газовой науки*. 2016. № 6. С. 40–62.

References

1. Strakhov PN, Filippov VP, Mazanova AV, Fadeev IYu. Problems of development of hydrocarbon deposits confined to reservoirs of complex structure. *Neftyanoe Khozyaistvo*. 2015;(12):98–101. (In Russ.)

2. Lobusev AV, Strakhov PN, Lobusev MA, Antipova YuA, Osin DA. Possible use seismic data for predicting reservoir properties deposits of Tympuchikansky field. *Territorija Neftegas*. 2014;(3):18–23. (In Russ.)

3. Kuznetsov VG, Ilyukhin LN, Postnikova OV, Bakina VV, Gorina AB, Dmitrievskii SA, Skobeleva NM, Tikhomirova GI, Sukhy V, Fomicheva LN. *Ancient carbonate series of eastern Siberia and their oil-and-gas-bearing*. Moscow: Nauchnyi Mir; 2000. (In Russ.)

4. Kushmar IA, Grigorenko YuN, Ananov VV, Belinkin VA. *Oil and gas of Eastern Siberia*. St. Petersburg: Nedra Publ.; 2006. (In Russ.)

5. Melnikov NV. *The Vendian-Cambrian salt basin of the Siberian platform (stratigraphy, history of development)*. Novosibirsk: SB RAS; 2009. (In Russ.)

6. Nigmatov ShA, Ismagilova LR, Boshchenko AN. The prediction of salted zones of Botubinskiy formation sandstone on the example of Chayandinsky field (East Siberia). *PROneft. Professionally about Oil*. 2019;(3):35–40. (In Russ.)

7. Ryzhov AE, Perunova TA, Orlov DM. Structure of the pore space of reservoir rocks of the Botubinsky horizon of the Chayandinsky deposit. *Vesti Gazovoy Nauki*. 2011;(1):162–174. (In Russ.)

8. Shemin GG. *Geology and petroleum potential of Vendian and Lower Cambrian deposits in central areas of the Siberian platform*. Novosibirsk: SB RAS; 2007. (In Russ.)

9. Ponomarenko AS. Geology of deposits of carbonate reservoirs of the Nepsko-Botuobinskaya anticline. *The Eurasian Scientific Journal*. 2020;(6):14. (In Russ.)

10. Ponomarenko AS. Geology of hydrocarbon deposits confined to terrigenous reservoirs of the Nepsko-Botuobinsk oil and gas region. *Science and Technology in the Gas Industry*. 2021;(1):3–10. (In Russ.)

11. Ponomarenko AS. Structure features of the voids of the Botuobin horizon. *The Eurasian Scientific Journal*. 2021;(5):9. (In Russ.)

12. Strakhov PN, Koloskov VN, Bogdanov OA, Sapozhnikov AB, Mazanova AV. Development of hydrocarbon deposits of the Nepsko-Botuobinskaya anticline. *Bulletin of the Association of Drilling Contractors*. 2017;(3):39–43. (In Russ.)

13. Mukhidinov SV, Vorobyev VS. Methodical features of petrophysical study salinization clastic rocks of oil and gas fields Chong Group. *PROneft. Professionally about Oil*. 2017;(1):32–37. (In Russ.)

14. Vorobev VS, Zhukovskaya EA, Mukhidinov ShV. Consideration of the salinization effect of reservoir rocks layers B10, B13 of the Nepa formation in order to improve the exploration drilling efficiently at the Ignyalinskiy, Tym-puchikanskiy and Vakunayskiy license areas (Eastern Siberia). *Oil and Gas Geology*. 2017;(6):49–57. (In Russ.)

15. Vorobev VS, Klinovaya YaS. Causes of salinization of terrigenous rock within the Verkhnechonskoe field (Eastern Siberia). *Gas Industry Journal*. 2017;(4):36–43. (In Russ.)

16. Vorobev VS, Chekanov IV, Klinovaya YaS. The distribution model of terrigenous reservoirs and saline sand-gravelite deposits within the fields of the central part of the Nepal arch. *Oil and Gas Geology*. 2017;3:47–60. (In Russ.)

17. Strakhov PN, Koloskov VN, Bogdanov OA, Sapozhnikov AB. *Research of Nonuniformity of Oil and Gas Deposits*. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas Center; 2018. (In Russ.)

18. Rapatskaya LA. To the role of overthrust-fold tectonics in hydrocarbon deposits formation on the south of Siberian platform. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2014;(10):102–109. (In Russ.)

19. Rapatskaya LA. Multifactorial and bipolar role of disjunctive tectonics in hydrocarbon ontogeny (Siberian platform). *Proceedings of Siberian Department of the Section of Earth Sciences of Russian Academy of Natural Sciences*. 2016;(2):40–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/0301-108X-2016-55-2-40-50>

20. Ivchenko OV, Polyakov EE, Ivchenko MV. Influence of fault tectonics on the oil-and-gas-bearing capacity of Vendian-Lower-Cambrian deposits at the southern regions of the Siberian platform (Nepa-Botuoba anticline and contiguous territories). *Vesti Gazovoy Nauki*. 2016;(6):40–62. (In Russ.)

Сведения об авторах

Страхов Павел Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор департамента недропользования и нефтегазового дела, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0002-9990-4514, eLIBRARY SPIN-код: 4821-8375; pavel.n.strakhov@mail.ru

Пonomarenko Анастасия Сергеевна, аспирант, департамент недропользования и нефтегазового дела, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0002-9641-8166; anast.ponomarenko@gmail.com

About the authors

Pavel N. Strakhov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9990-4514, eLIBRARY SPIN-code: 4821-8375; pavel.n.strakhov@mail.ru

Anastasia S. Ponomarenko, graduate student, Department of Mineral Developing and Oil & Gas, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9641-8166; anast.ponomarenko@gmail.com